

DISEÑO Y MODELAMIENTO TÉRMICO DE UN SENSOR DE FLUJO DE CALOR, PARA SUPERFICIES CILÍNDRICAS EN APLICACIONES HVAC/R.

MANUEL ALEJANDRO LOZANO MARÍN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2017

**DISEÑO Y MODELAMIENTO TÉRMICO DE UN SENSOR DE FLUJO DE
CALOR, PARA SUPERFICIES CILÍNDRICAS EN APLICACIONES HVAC/R.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de Ingeniero
Mecánico**

MANUEL ALEJANDRO LOZANO MARÍN

.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA**

2017

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABLAS.....	VI
LISTA DE GRAFÍCAS.....	VII
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
1. FUNDAMENTACIÓN.....	3
1.1. Transferencia de calor a través de pared cilíndrica.....	3
1.1.1 Calculo de la transferencia de calor en el sensor	6
1.2. Sensores de flujo de calor para superficies cilíndricas.....	7
1.2.1. Sensores tipo gardon gauge.....	8
1.2.2. Sensores de película delgada.....	9
1.2.2.1. Sensores de resistencias térmicas.....	9
1.2.2.2. Sensores que implementan principio de Seebeck.....	11
1.3. Volúmenes finitos.....	12
1.4. Modelo de simulación computacional.....	13
2. DISEÑO DEL SENSOR DE FLUJO DE CALOR.....	17
2.1. Principios de medición.....	17
2.2. Proceso de fabricación del sensor.....	18
2.3. Materiales propuestos para el diseño de sensor.....	19
2.3.1. Película o sustrato.....	19
2.3.2. Termopares tipo T.....	20
2.4. Determinación de diámetros de las tuberías más comunes en aplicaciones HVAC&R.....	20
2.5. Dimensionamiento preliminar del sensor de flujo de calor.....	25

3. DEFINICIÓN DE PARAMETROS DE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL	27
3.1. Introducción.....	27
3.2. Desarrollo conceptual.....	27
3.3. Zona del ciclo de referencia para los parámetros.....	27
3.4. Parámetros para cilindro de 7/8 pulgada y 1 5/8 de diámetro nominal	29
3.5. Definición de mallado.....	30
3.6. Método de discretización para simulación del sensor.....	30
4. SIMULACIÓN.....	34
4.1. Entradas.....	34
4.2. Simulación para tubería de 7/8 pulgada.....	34
4.2.1. Mallado.....	34
4.2.2. Calculo de la transferencia de calor.....	35
4.2.3. Simulación.....	36
4.2.3.1. Sensor simple.....	36
4.2.3.2. Sensor con recubrimiento parcial.....	37
4.2.3.3. Sensor totalmente recubierto.....	39
4.3. Cambio de condiciones ambientales.....	42
4.3.1. Corrientes de aire.....	42
4.3.2. Sensor totalmente recubierto	42
4.4. Consideración de la transferencia de calor neta por radiación.....	43
4.5. Cambio de dimensión: Simulación en tubería de 1 5/8 de pulgada	44
4.5.1. Sensor totalmente recubierto	44
4.6. Simulación dinámica de sensor de flujo de calor.....	46
4.7. Análisis de las simulaciones.....	47
5. INCERTIDUMBRE DEL SENSOR DE FUJO DE CALOR.....	50

5.1. Introducción.....	50
5.2. Calibración del sensor	51
5.3. Incertidumbre en la medición de voltaje.....	53
5.4. Incertidumbre de distorsión causada por la presencia del sensor.....	54
5.5. Evaluación final de la incertidumbre.....	57
6. CONCLUSIONES.....	59
7. RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS	
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de temperaturas en sistema cilíndrico.....	3
Figura 2. Distribución de temperatura de estado estable en una pared plana con convección en la superficie.....	4
Figura 3. Distribución de temperatura transiente en pared plana para diferentes valores del número de Biot.....	5
Figura 4. Transferencia de calor a través de capas cilíndricas.....	7
Figura 5. Configuraciones de los sensores resistivos.....	11
Figura 6. Sección transversal del sensor de flujo de calor.....	18
Figura 7. Diagrama de velocidad para refrigerante R-22.....	22
Figura 8. Corte en sección de la tubería.....	24
Figura 9. Vista frontal del dimensionamiento preliminar del sensor.....	25
Figura 10. Vista posterior del dimensionamiento preliminar del sensor.....	26
Figura 11. Ciclo de refrigeración simple.....	28
Figura 12. Tubería de 2 metros de longitud con 7/8 de pulgada de diámetro.....	29

Figura 13. Resistencia térmica en paralelo.....	31
Figura 14. Sistema con distribucion de mallado.....	35
Figura 15. Sensor con recubrimiento lateral.....	37
Figura 16. Sensor totalmente recubierto y corte transversal	40
Figura 17. Isometrico de tubería con ubicación de ejes.....	42
Figura 18. Sensor con recubrimiento lateral en tubería de 1 5/8 de pulgada	45
Figura 19. Esquema método de calibración.....	51
Figura 20. Método de calibración “foso de calor”.....	52
Figura 21. Geometría para método de calibración “foso de calor”.....	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Espesores mínimos para aislamiento de tuberías.....	21
Tabla 2. Datos físicos de las propiedades de los aislantes para tuberías en aplicaciones HVAC/R.....	23
Tabla 3. Resultados simulación sensor simple.....	36
Tabla 4. Resultados simulación sensor con recubrimiento lateral.....	38
Tabla 5. Resultados simulación totalmente recubierto	41
Tabla 6. Resultados de simulaciones para sensor con diversas corrientes de aire en los tres ejes con recubrimiento total.....	43
Tabla 7. Resultados de simulaciones de sensor con recubrimiento total en tubería de 1 5/8 de pulgada.....	45
Tabla 8. Intensidad de flujo y la conductividad térmica sobre la incertidumbre por distorsión.....	55
Tabla 9. Resultados obtenidos de la simulación del sensor sobre el aislante.....	56
Tabla 10. Resultados obtenidos de la simulación del sensor incrustado en el aislante.....	56

LISTA DE GRAFÍCAS

Grafica 1. Resultados del sensor sin recubrimiento	36
Grafica 2. Resultados sensor con recubrimiento lateral	39
Grafica 3. Resultados sensor con recubrimiento completo.....	41
Grafica 4. Resultados del sensor con recubrimiento total sobre tubería de 1 5/8 de pulgada	46
Grafica 5. Resultados del sensor en un estudio dinámico.....	47
Grafica 6. Comparación de las transferencias obtenidas con el sensor externo e incrustado en el aislante.....	57

GLOSARIO

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

INERCIA TÉRMICA: propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que lo cede o absorbe.

VOLUMENES FINITOS: Método de cálculo derivado de las diferencias finitas pero aplicada a volúmenes.

HVAC: Siglas de instalaciones diseñadas para requerimientos de calefacción, ventilación, refrigeración y aire acondicionado (heating, ventilation and air conditioning

REFRIGERANTE: fluido de trabajo, ya sea gaseoso o líquido, utilizado para la transferencia de calor entre un sistema cerrado y el medio ambiente en un ciclo termodinámico de refrigeración o calefacción.

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla un modelo computacional usando la técnica de volúmenes finitos en la herramienta computacional SOLIDWORKS, para el diseño de un sensor de flujo de calor sobre superficies cilíndricas específicamente en aplicaciones HVAC/R (calefacción, refrigeración y aire acondicionado). Se busca medir con un nivel de incertidumbre aceptable flujos de calor en tuberías y superficies cilíndricas a través de un estudio de la transferencia de calor en esta aplicación en particular.

En el diseño se considera la selección de materiales, adecuadas dimensiones para este tipo de aplicación, determinación de la sensibilidad del sensor, e incertidumbre final de medición, se elabora un manual para el uso del sensor que permite su adecuada instalación y operación.

El modelo computacional del sensor pretende simular su comportamiento como herramienta para un diseño más eficiente.

El sensor permitirá evaluar el estado en el que se encuentra el aislamiento térmico en tuberías y/o tanques como parte de las tareas de mantenimiento predictivo en instalaciones HVAC/R, para reducir el consumo de energía e impacto ambiental de este tipo de instalaciones.